

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 996 861**

51 Int. Cl.:

G06F 30/20 (2010.01)

G01V 99/00 (2014.01)

G06F 30/23 (2010.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.11.2020** **E 20382974 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.10.2024** **EP 4001971**

54 Título: **Método implementado por ordenador para manipular una malla para la discretización de un dominio de yacimiento**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
13.02.2025

73 Titular/es:

REPSOL, S.A. (100.00%)
Méndez Álvaro 44
28045 Madrid, ES

72 Inventor/es:

VARGAS MENDOZA, PABLO ENRIQUE;
GONZÁLEZ MOLANO, NUBIA AURORA;
PÉREZ, JUAN MANUEL;
GIMÉNEZ, JAVIER;
SEGURA SERRA, JOSÉ MARÍA;
IBÁÑEZ MARTÍNEZ, ENRIC;
ALVARELLOS IGLESIAS, JOSÉ;
MOLINOS, ROBERTO y
MOOKANAHALLIPATNA RAMASESHA,
LAKSHMIKANTHA

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 996 861 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Método implementado por ordenador para manipular una malla para la discretización de un dominio de yacimiento

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere a un método implementado por ordenador para manipular una malla para la discretización de un dominio de yacimiento, estando el dominio de yacimiento modelado mediante un modelo geofísico, un modelo de fluido, o ambos modelos.

El método se caracteriza por el uso de celdas como partición del dominio de yacimiento en el que cada celda comprende una malla numérica. La malla del dominio de yacimiento es la unión de las mallas ubicadas en la pluralidad de celdas.

10 La división en partición del dominio en una pluralidad de celdas permite la fácil modificación de regiones específicas del dominio en el que los requisitos de remallado se limitan a aquellas celdas que alojan elementos modificados y quizás algunas celdas circundantes.

Técnica anterior

15 La simulación de entidades físicas es uno de los campos técnicos con desarrollo más intenso. En la mayoría de los casos, la entidad física es una pieza o un dispositivo. La fabricación de la entidad física es costosa y, si el resultado final no es satisfactorio, entonces debe fabricarse de nuevo una nueva entidad física.

Incluso cuando es posible fabricar la entidad física, hay algunas mediciones que no pueden medirse y el prototipo no es útil. Este es el caso en el que la ubicación de la medición no es accesible o el instrumento para la medición es intrusivo.

20 La explotación de los yacimientos de petróleo y gas es incluso más compleja, ya que las mediciones en cualquier punto del yacimiento son inasequibles y, en cualquier caso, las mediciones con sondas o técnicas de perforación son claramente intrusivas modificando el valor medido.

25 Como ejemplo, la simulación de yacimientos de petróleo y gas permite obtener mediciones en cualquier ubicación del dominio simulado y, reproducir un proceso de explotación tantas veces como sea necesario para identificar el plan de explotación óptimo.

Adicionalmente, muchas de las características geológicas y características relacionadas con fluidos se determinan usando técnicas computacionales que procesan datos adquiridos previamente en el campo. Este es el caso de modelos numéricos proporcionados por datos acústicos migratorios o poblados con propiedades determinadas usando mediciones electromagnéticas.

30 En estos casos, el proceso posterior requiere modelos numéricos que se modelan numéricamente para simular el comportamiento del yacimiento.

Los métodos numéricos específicos usados normalmente para simular yacimientos de petróleo y gas son métodos de elementos finitos o métodos de volúmenes finitos.

35 Cuando se resuelven las ecuaciones dominantes para simular el dominio de yacimiento, se requiere una primera etapa que discretiza el dominio.

40 Generar una discretización de un dominio de yacimiento es un proceso complejo que puede requerir varios días para que un experto proporcione un modelo numérico fiable que sea adecuado para procesarse en una etapa posterior. La enorme cantidad de entidades geofísicas tales como discontinuidades como fallas, pliegues, fracturas, fisuras o planos de estratificación, formaciones geológicas que comprenden capas de material, o la presencia de geometrías complejas dan como resultado un proceso complejo que requiere muchas horas de trabajo para un experto.

45 Los dominios de yacimiento más comunes pueden modelarse mediante un modelo geofísico, comprendiendo dicho modelo entidades geofísicas y propiedades tales como propiedades de roca, formas, propiedades estratigráficas, fallas, discontinuidades, fracturas, porosidad, etc.; un modelo de fluido, comprendiendo dicho modelo propiedades de fluido, la composición de fluidos mezclados, valores de presión, regiones que están ocupadas por el fluido, etc.; o ambos modelos.

En la mayoría de los casos, los datos adicionales obtenidos de otras fuentes de información requieren cambios en cualquiera de los dos modelos. Cuando se genera una malla numérica discretizando el modelo geofísico, el modelo de fluido o ambos modelos, dicha malla se adapta a las propiedades y entidades físicas representadas por dichos modelos.

50 Algunas técnicas automáticas bien conocidas de refinado de malla se basan en generar una malla más fina en aquellas partes en las que se estima el error por encima de un umbral predeterminado. Estas técnicas requieren un

estimador de error ya que la solución exacta de las ecuaciones dominantes no está disponible. En estos casos, por ejemplo, usando elementos finitos o volúmenes finitos, como un mero ejemplo, se dividen y los nodos vuelven a numerarse.

5 En muchos casos, el refinado automático de malla requiere la manipulación del usuario que comprueba si la malla propuesta es adecuada o, si se debe forzar un refinado de malla en alguna región específica.

Una vez que la malla se adapta al modelo geofísico o al modelo de fluido, los nodos de la malla están ubicados en ubicaciones específicas impuestas por la forma y ubicación de los elementos geofísicos o propiedades de los modelos. Como resultado, cualquier cambio del modelo numérico o del modelo de fluido provoca que toda la malla deba generarse de cero desperdiciando todo el trabajo previo del usuario.

10 Se conoce la solicitud de patente estadounidense n.º US2014/0222403A1 que da a conocer un método que incluye formular un sistema lineal de ecuaciones para una función implícita con respecto a una malla que representa un entorno geológico; resolver el sistema lineal de ecuaciones como un primer subsistema sujeto al menos a una restricción de suavidad de segundo orden y al menos una porción de datos y como un segundo subsistema sujeto al menos a una restricción de suavidad de primer orden y al menos una porción de los datos; y, basado al menos en parte en la resolución, emitir valores para la función implícita con respecto al menos a una porción de la malla.

15 También se conoce la solicitud de patente estadounidense n.º US2018/0347320A1 que da a conocer un método para generar un modelo estructural geológico.

También se conoce la solicitud de patente estadounidense n.º US2012/0296619A1 que da a conocer un método y un sistema para dividir modelos de simulación paralelos.

20 También se conoce la solicitud de patente estadounidense n.º US2018/0322232A1 que da a conocer un método de representación de incertidumbre estructural en una malla que representa un entorno geológico.

También se conoce la publicación "Hex-dominant mesh generation for basin modeling with complex geometry", IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 10 (2010)".

25 La presente invención es un método implementado por ordenador que supera todos los inconvenientes identificados facilitando la modificación de regiones específicas del dominio mientras mantiene la malla ya generada en el resto del dominio. La invención comprende celdas que dividen el dominio en el que cada celda tiene asociada una malla. La discretización del dominio de yacimiento está determinada por la unión de las mallas ubicadas en todas las celdas.

Descripción de la invención

30 La presente invención es un método implementado por ordenador para manipular una malla para la discretización de un dominio de yacimiento modelado mediante un modelo geofísico, un modelo de fluido o ambos modelos, en el que el modelo geofísico comprende las propiedades mecánicas y de roca y el modelo de fluido comprende las propiedades de fluido y, ambos modelos comprenden entidades geofísicas del yacimiento; recuperándose del yacimiento los datos de información de entidades geofísicas,

35 comprendiendo el método:

a) generar, a través de un sistema informático, un modelo geofísico, un modelo de fluido o ambos modelos, comprendiendo dichos modelos entidades geofísicas en el dominio.

40 El modelo geofísico comprende las propiedades mecánicas y de roca y el modelo de fluido comprende las propiedades del fluido y, ambos modelos, entidades geofísicas del yacimiento. Ejemplos de propiedades y entidades son: capas, propiedades de roca, la forma y ubicación de fallas y fracturas, discontinuidades de las propiedades, porosidad, propiedades y composición del fluido, saturación, ubicaciones de pozos, etc. Estas entidades geofísicas tienen asociada una ubicación específica que puede almacenarse como un punto, un conjunto de ubicaciones según una línea recta o curva, una superficie o un volumen.

45 A lo largo de este documento, "entidades geofísicas" debe entenderse como cualquier entidad natural o artificial comprendida en el dominio de yacimiento que impone una restricción que condiciona la estructura de malla.

El método comprende además:

b) generar, a través de un sistema informático, una partición del dominio, comprendiendo la partición una pluralidad de celdas limitadas por un límite, comprendiendo cada celda vértices y, cada celda tiene un límite común con celdas adyacentes.

50 La partición del dominio permite limitar la influencia de modificaciones en regiones específicas del dominio. Según realizaciones específicas, cada celda puede dividirse adicionalmente de tal manera que aloje una pluralidad de celdas. Cuando una celda se divide en celdas más pequeñas, el número de elementos o entidades geofísicas que

se encuentran dentro de las celdas divididas es menor, garantizando que una malla resultante generada en una etapa posterior sea simple mientras se adapta a una alta resolución a las entidades de los modelos geofísicos y de fluido.

5 Una subcelda es una celda resultante de una subdivisión de una celda más grande, sin embargo, también es una celda. A lo largo de la descripción, cuando se hace referencia a una celda, también puede aplicarse a una subcelda a menos que se dé a conocer explícitamente lo contrario.

El método comprende además:

c) *generar para cada celda, a través de un sistema informático, una malla numérica que discretiza la celda, comprendiendo dicha malla numérica nodos al menos en los vértices de la celda;*

10 d) *proporcionar la malla resultante de la unión de las mallas de la pluralidad de celdas, es decir, el resultado de un proceso de consolidación que elimina los nodos duplicados de celdas adyacentes y almacenar los nodos en la malla global sólo una vez, en el que los nodos duplicados están en ubicaciones separadas por una distancia menor que un umbral predeterminado;*

15 *en la que las celdas (C) de la partición (P) tienen una forma que, cuando una celda (C) se subdivide en subceldas (C) más pequeñas, dichas subceldas (C) tienen la misma topología que la celda (C) original, y en el que el conjunto de celdas (C) son rectángulos si el dominio (Ω) es un dominio en 2D o hexaedros si el dominio (Ω) es un dominio en 3D, con los bordes/caras paralelos de dos en dos;*

20 *estando adaptado el método para la simulación de yacimientos de petróleo y gas, reproduciendo un proceso de explotación tantas veces como sea necesario para identificar el plan de explotación óptimo, siendo dicho plan óptimo el plan de explotación del proceso de explotación.*

Dada la partición del dominio de yacimiento, se ejecuta una generación de malla para cada celda. Dado que la generación de malla requiere que la malla generada comprenda nodos al menos en los vértices de la celda, la configuración de la malla resultante está condicionada por la partición de celda.

25 Una malla de una celda puede comprender nodos adicionales; este es el caso en el que una celda adyacente, es decir, aquellas celdas que tienen un límite común resultante del proceso de división en partición, se ha dividido en partición adicionalmente y un límite está limitado por un límite de la celda pero no está ubicado en un vértice de la celda. Pueden añadirse nodos adicionales si es necesario.

30 Según una realización específica, la partición que genera celdas proporciona una división en partición estructurada mientras que la malla generada al menos en una celda no está estructurada, lo que da como resultado una malla global no estructurada.

La malla resultante del método puede enviarse al solucionador sin necesidad de enviar la división en partición de celdas. No obstante, la división en partición de celdas puede almacenarse para refinamientos posteriores en los que la malla puede modificarse en vista de los valores resultantes de la simulación o modificaciones adicionales del modelo geofísico o el modelo de fluido.

35 En un contexto global preferido de la invención, los datos recuperados de un yacimiento proporcionan información de entidades geofísicas en dicho yacimiento que permiten simular el yacimiento mediante simuladores numéricos basándose en el uso de una malla que aproxima la representación de las entidades geofísicas y las propiedades geofísicas y de fluido. Una vez que se genera la malla según la invención mediante un sistema informático, el simulador numérico procesa tal información también en un sistema informático que proporciona el comportamiento del modelo geofísico, el modelo de fluido o ambos.

Cuando una celda se divide en subceldas con un determinado criterio, se usará el término refinada o celda refinada.

Según la invención, las subceldas tienen la misma topología que la celda dividida, garantizando en una partición estructurada inicialmente que la división en partición resultante pueda almacenarse de manera recursiva según reglas preestablecidas que faciliten el proceso de indexación de cada nueva celda.

45 Otra ventaja de la invención es que el procedimiento de mallado puede basarse en una pluralidad de condiciones que pueden reproducirse en cualquiera de las celdas o subceldas y, por tanto, no se generan nuevos escenarios o condiciones que hagan que el proceso de implementación sea más fácil y muy robusto.

Según realizaciones específicas, *para cada límite común entre una celda y una celda adyacente, los vértices de la celda que limitan el límite común son nodos de la malla de la celda adyacente.*

50 Cuando una malla ubicada en una celda y una malla ubicada en una celda adyacente tienen un nodo común según una realización preferida, el nodo se almacena sólo una vez. En implementaciones específicas del método, los nodos duplicados se simplifican manteniendo sólo un único nodo y se ejecuta un proceso de reenumeración de nodos. Lo mismo se aplica cuando los nodos duplicados están en ubicaciones ligeramente separadas por una

distancia por debajo de un umbral predeterminado.

Preferiblemente, en todas las realizaciones, el mallado se realiza a nivel de celda individual.

Una vez que las celdas están malladas, la malla global del dominio de yacimiento es el resultado de la unión de las mallas individuales y, por tanto, se realiza un proceso de consolidación para eliminar los nodos duplicados de celdas adyacentes y almacenar los nodos en la malla global sólo una vez.

Según otra realización, *dada una celda predeterminada, los nodos de la malla de celdas adyacentes ubicados en el límite común entre la celda y la celda adyacente son también nodos de la malla de la celda.*

En estas condiciones, cuando las celdas circundantes son el resultado de una subdivisión, se generan vértices adicionales y, por tanto, se usarán nodos adicionales en las mallas resultantes en las subceldas. Estos nuevos nodos son también nodos de la malla de las celdas adyacentes que garantizan una malla global coherente.

Según una realización específica, *cada celda comprende una pluralidad de puntos activos en una ubicación predeterminada del límite de la celda, siendo los puntos activos los puntos de la celda que son ubicaciones candidatas que se permite que sean un nodo de la malla.*

Una vez que el dominio de yacimiento se divide en partición, la forma de las celdas define los puntos activos de las celdas. Los puntos activos de una celda son puntos relevantes de los límites de la celda que son candidatos a ser un nodo de la malla generada en una etapa posterior.

Una vez que se ha determinado la forma de las celdas, se predeterminan también los puntos activos asociados a dicha forma de celda.

Según una realización específica, en un dominio en 2D, los puntos activos de las celdas son los vértices de la celda y los puntos medios de cada borde de la celda, en un dominio en 3D, los puntos activos de las celdas son los vértices de la celda, los puntos medios de cada borde de la celda y el baricentro de cada cara de la celda.

A lo largo de este documento, "nodos" deben entenderse como los puntos activos de cada celda que se usan en la malla generada posteriormente de la celda, que son al menos los vértices de las celdas.

Según otra realización, *una celda o una subcelda de la partición se refina subdividiendo cada dimensión en dos partes por mitad, dando como resultado 2^N subceldas donde N es el número de dimensiones, siendo las nuevas subceldas parte de la partición.*

Si la forma de una celda es un rectángulo en un dominio en 2D, un proceso de refinamiento sobre esta celda comprende subdividir cada una de las dos dimensiones en dos partes por la mitad, dando como resultado en este caso cuatro rectángulos.

Dividir cada dimensión por la mitad es una restricción que determina el proceso de subdivisión que da como resultado una pluralidad de subceldas más pequeñas que mantienen la tasa entre dos o más dimensiones y, por tanto, no se generan subceldas estiradas progresivamente.

Esta restricción mantiene buenas propiedades para la malla resultante generada cuando se genera una malla en cada subcelda.

Según una realización, *si una celda que está subdividiéndose tiene una malla, dicha malla se elimina antes de subdividir la celda y se reconstruye una nueva malla al menos en las nuevas subceldas después de subdividir la celda.*

En esta realización, se requiere un refinamiento de al menos una celda, por ejemplo, debido a que se requiere una mejor resolución debido a la presencia de una pluralidad de elementos o entidades geofísicas de cualquiera de los modelos, el modelo geofísico o el modelo de fluido. Entonces, se elimina la malla de la celda que va a subdividirse. La celda desprovista de malla se refina generando nuevas subceldas. Una vez que el refinamiento ha terminado, el proceso de generación de malla puede comenzar para cada subcelda o celda que está modificándose.

A continuación, se definen varios criterios que determinan las condiciones activantes para refinar las celdas. Estos criterios pueden comprender criterios específicos adicionales para determinado modelo. Según una realización preferida, los criterios se comprueban en cada una de las celdas.

Según una realización, *una celda se refina con un primer criterio basado en el número de divisiones de las celdas adyacentes, es decir, la celda se refina si el número de divisiones de las celdas adyacentes en el límite común es mayor que un valor predeterminado, preferiblemente 2.*

Este criterio garantiza que entre las celdas grandes y las celdas pequeñas se genere una transición cuando dicho criterio se aplica de manera iterativa, en el que el tamaño de las celdas se adapta progresivamente entre los dos tamaños. Al alcanzar esta transición, la malla generada basada en las celdas resultantes satisface la condición de

ser también una transición suave que mejora el comportamiento de la discretización resultante cuando la usa un solucionador mientras mantiene formas no distorsionadas para la malla.

5 Si se satisface este criterio activando un proceso de refinado, este proceso también está limitado en el espacio, por lo que no implica que todo el dominio deba volver a mallarse, lo que da como resultado una influencia limitada del proceso de refinado.

Según una realización, *una celda se refina con un segundo criterio basado en el número de entidades alojadas en la celda, es decir, la celda se refina si el número de entidades geofísicas alojadas o alojadas parcialmente en la celda es mayor que un valor predeterminado, preferiblemente 2.*

10 Este segundo criterio se basa en el número de entidades alojadas en la celda. El término entidades puede referirse a entidades geofísicas, entidades de fluido o incluso discontinuidades en las propiedades físicas. Es decir, la interfase ubicada en la discontinuidad también se interpreta como una entidad. Una entidad puede estar alojada completamente o alojada parcialmente en una celda. Si la entidad está alojada al menos parcialmente, se considera que está alojada y se tiene en cuenta cuando se cuenta el número de entidades dentro de la celda.

15 Este criterio limita el número de entidades ubicadas dentro de una celda, lo que proporciona una mejor resolución de malla basándose en la generación de celdas para regiones que comprenden una pluralidad de entidades.

Según una realización, *una celda se refina con un tercer criterio basado en la distancia de la intersección de una entidad geofísica, alojada al menos parcialmente en la celda, con los límites de la celda y los puntos activos de dicha celda, es decir, la celda se refina si la distancia mínima entre la intersección de una entidad geofísica con los límites y los puntos activos de dicha celda es mayor que un valor predeterminado.*

20 Una celda comprende una pluralidad de puntos activos, vértices y posibles nodos de la malla, en la que cada vértice es al menos un nodo. Cuando una entidad geofísica está alojada parcialmente en la celda, la intersección de dicha entidad geofísica muestra una distancia con cada punto activo de la celda, ya que sólo los puntos activos son ubicaciones de la celda donde se permite que esté ubicado el nodo. Si dicho valor mínimo es mayor que un valor predeterminado, la celda se refina provocando la subdivisión de la misma.

25 Este tercer criterio permite ubicar nuevos vértices y puntos activos debido a la subdivisión de la celda y, por tanto, ubicar nodos de la malla, a una distancia de la entidad geofísica menor que dicho valor predeterminado. La malla resultante satisface la misma condición.

En una realización referida, las entidades geofísicas del dominio de yacimiento se representan aproximando la geometría de las entidades mediante secciones a lo largo de las celdas.

30 Según una realización específica, en un dominio en 2D, la aproximación de la geometría de las entidades da lugar a una línea discontinua. En un dominio en 3D, la aproximación de la geometría de las entidades da lugar a porciones de superficies regladas.

35 Los puntos activos son los puntos usados para aproximar la geometría de las entidades geofísicas. Si hay una entidad geofísica alojada al menos parcialmente en una celda, los puntos activos de dicha celda son candidatos para representar la geometría de la entidad geofísica alojada en la celda. A partir de los puntos activos de la celda, el punto o puntos activos más cercanos se selecciona(n) para representar la entidad geofísica aproximada. Si la distancia entre la intersección de dicha entidad geofísica y el punto activo más cercano es mayor que el valor predeterminado, la celda se refina y se consideran nuevos puntos activos para cada subcelda para lograr una mejor aproximación de la entidad geofísica.

40 Según esta realización, los nodos de la malla son todos los vértices de las celdas y aquellos puntos activos que representan una entidad geofísica. Los vértices de las celdas se consideran puntos activos.

Según una realización, *las celdas de la partición se subdividen de manera iterativa hasta que no se satisfaga ninguno de los tres criterios.*

45 Según esta realización, al final del proceso iterativo, la partición resultante del dominio se ha comprobado con respecto a los tres criterios de refinamiento. Adicionalmente, si se modifica el modelo geofísico o el modelo de fluido, el proceso iterativo alcanzará de nuevo una partición adaptada para aproximar con precisión suficiente los dos modelos.

50 Según una realización, el método implementado en un ordenador, en una modificación de cualquiera de los modelos, envía una señal en la que cada celda comprueba si se satisfacen al menos el primer, segundo y tercer criterios, activando un proceso de refinamiento si se satisface cualquiera de dichos criterios.

Una vez que no se satisfacen todos los criterios, cada celda refinada puede volver a mallarse.

Según una realización, *en cada operación de refinado de celdas, en aquellos límites comunes de una celda adyacente a los límites de celda que limitan dos o más subceldas, el método añade además al menos un nuevo*

nodo de la ubicación de la intersección del límite común de la celda y los límites que limitan las dos o más subceldas.

5 Cuando una celda tiene dos o más subceldas adyacentes que son el resultado de un proceso refinado y muestra límites de celda de la subdivisión que están limitados por el límite de la celda donde no se ubican vértices, entonces se añade al menos un nodo. Es decir, tal ubicación se procesa como que tiene un punto activo.

Según esta condición, esos nuevos vértices generados durante el proceso de refinado que están ubicados en el límite de una celda más grande y no es un vértice de dicha celda, entonces esta condición genera un nuevo nodo que hace que las mallas resultantes en todas las celdas implicadas en el proceso de refinamiento estén conectadas completamente.

10 Una vez que se generan todos los nodos después de una generación de malla o un refinamiento, si la aplicación de la generación de malla es además una discretización en elementos finitos o una discretización en volúmenes finitos, se conectan nodos garantizando que dicha conexión proporciona polígonos cerrados en dominios en 2D o regiones cerradas en dominios en 3D. Esta restricción garantiza que cada elemento resultante si la aplicación es una discretización en elementos finitos o cada volumen si la aplicación es una discretización en volúmenes finitos, está contenido en una entidad.

15 Según realizaciones preferidas, *una entidad geofísica comprende propiedades de forma que delimitan la entidad geofísica, siendo tales propiedades:*

- *una forma lineal,*
- *una forma de superficie,*
- 20 - *forma de volumen,*
- *una interfase de grosor nulo,*
- *una combinación o unión de cualquiera de las propiedades de forma anteriores.*

25 Una entidad específica es un elemento de interfase de grosor nulo que modela fallas, fracturas naturales o planos de estratificación. También puede usarse para fracturas inducidas también denominadas fracturas hidráulicas. En un dominio bidimensional, la propiedad de forma de una interfase de grosor nulo es una línea y, en un dominio tridimensional, la propiedad de forma es una superficie. En la solicitud de patente n.º WO2015/124633A1 se dan a conocer elementos de interfase de grosor nulo. Dichos elementos de interfase de grosor nulo se usan para modelar discontinuidades geológicas que pueden evolucionar, generando por ejemplo una separación entre dos superficies en las que se separan entonces nodos dobles de tal manera que uno de los dos nodos se ubica en una superficie y el otro nodo se ubica en la superficie opuesta.

30 Cuando se usan elementos de interfase de grosor nulo, los procesos de consolidación dirigidos a eliminar nodos dobles de mallas generados en diferentes celdas no actúan sobre los nodos dobles de elementos de interfase de grosor nulo.

35 Según una realización, *después de generar la partición o después de generar la partición y una o más mallas en las celdas, el método comprende:*

- *modificar el modelo geofísico, el modelo de fluido o ambos modelos,*
- *identificar al menos una celda actualizada, es decir, una celda que aloja entidades geofísicas con datos modificados;*
- *eliminar la al menos una celda actualizada de la partición;*
- 40 - *rellenar el espacio del dominio con una nueva celda o nuevas celdas.*

El término "modificar" se interpreta de una manera genérica en la que la adición, modificación o eliminación de una entidad se considera una modificación del modelo geofísico o el modelo de fluido.

45 Esta modificación cambia las propiedades de una región del dominio. Aquellas celdas que alojan al menos parte de dicha región modificada se eliminan de la partición y el espacio vacío se rellena con una nueva celda o nuevas celdas.

50 Este proceso que genera nuevas celdas puede activar un proceso de comprobación automática en el que se comprueban los al menos primeros criterios, segundos criterios o terceros criterios de refinamiento, o cualquier combinación de los mismos y se inicia un proceso de refinado de celdas si se cumple cualquiera de las opciones identificadas. El refinamiento óptimo se obtiene cuando se comprueban al menos los tres criterios y no se satisface ninguno de ellos.

Esta condición se expresa con “puede” ya que el proceso de comprobación no se aplica, por ejemplo, cuando se requieren modificaciones adicionales como proceso de comprobación antes de finalizar las modificaciones que reducirían los recursos computacionales.

5 Según una realización, el evento de activación de refinamiento es una señal de la celda o celdas que hace que se procesen las celdas que van a refinarse. Esta realización puede implementarse preferiblemente usando un paradigma orientado a objetos.

Según una realización, *cada celda almacena además datos de las entidades geofísicas que están alojadas en dicha celda.*

10 Cuando una celda se elimina y se reemplaza por una nueva celda o nuevas celdas debido a una operación de remallado, las entidades de la primera celda pueden almacenarse temporalmente y transferirse a las nuevas celdas. Adicionalmente, según otra realización, cuando una celda se subdivide en una pluralidad de subceldas, los datos almacenados en la celda antes de subdividirse se almacenan en las nuevas subceldas en las que cada subcelda almacena sólo los datos relevantes para la misma. Según una realización alternativa, si una celda se elimina y reemplaza por una nueva celda o nuevas celdas porque la información con respecto a las entidades cambia, entonces la eliminación de la celda o celdas también comprende la eliminación de las entidades y su reemplazo si las hubiera.

Las entidades comprendidas en una celda pueden eliminarse o modificarse y pueden añadirse nuevas entidades, entonces, la celda o celdas actualizadas se eliminan y se reemplazan por las nuevas celdas que comprenden las entidades actualizadas.

20 Tal como se ha descrito, *según otra realización, en la que después rellenar el espacio del dominio con una nueva celda o nuevas celdas,*

- *la nueva celda o las nuevas celdas se refinan,*
- *se genera una nueva malla en cada celda o celdas actualizadas; y*
- *la malla se actualiza si es necesario.*

25 Una vez que las celdas actualizadas se reemplazan por las nuevas celdas, las celdas se refinan, comprobando si se cumplen el primer o el segundo o el tercer criterio de refinamiento o cualquier combinación de los mismos. Cuando todas las celdas se refinan, se genera la malla para cada celda actualizada y se actualiza la malla global.

30 Al menos los criterios anteriores, el primer criterio, el segundo criterio y el tercer criterio, proporcionan condiciones para subdividir celdas en las que el uso de un proceso iterativo hasta que no se cumpla ninguno de los criterios garantiza un refinamiento progresivo de las celdas. Una vez refinadas las celdas, aquellas celdas desprovistas de una malla, cuando se comprueban, activan una generación de mallado.

Aquellas celdas ya malladas pero que tienen nodos adicionales vuelven a mallarse en las que la nueva malla comprende al menos todos los vértices de la celda y también los nuevos nodos que no están ubicados en ningún vértice.

35 También es un aspecto de la invención *un medio legible por ordenador que almacena instrucciones ejecutables por ordenador que, cuando se ejecutan por un procesador, dan como resultado el método según cualquiera de las realizaciones anteriores.*

El término genérico “procesador” puede implementarse usando un sistema multiprocesador, por ejemplo, implementando un proceso informático paralelo.

40 También es un aspecto de la invención *un dispositivo electrónico de análisis de datos, comprendiendo el dispositivo:*

- *un procesador; y*
- *un medio legible por ordenador que almacena instrucciones ejecutables por ordenador que, cuando se ejecutan por el procesador, dan como resultado el método según cualquiera de las realizaciones anteriores.*

Descripción de los dibujos

45 Estas y otras características y ventajas de la invención se desprenderán más claramente de la siguiente descripción detallada de una realización preferida, proporcionada únicamente a título de ejemplo ilustrativo y no limitativo, con referencia a los dibujos adjuntos.

Figura 1. Esta figura muestra un ejemplo de un dominio de yacimiento.

Figura 2. Esta figura muestra una partición del dominio de yacimiento en celdas.

Figura 3. Esta figura muestra una malla global resultante de la unión de las mallas de cada celda según la partición anterior.

Figura 4. Esta figura muestra otro ejemplo de un dominio de yacimiento.

5 Figuras 5A-5D. Estas figuras muestran una partición y etapas de refinamiento del dominio de yacimiento anterior según una realización del método de la invención.

Figuras 6A-6B. Estas figuras muestran una representación de la geometría de las entidades geofísicas según la partición anterior.

Figuras 7A-7C. Estas figuras muestran la malla global resultante de la partición del dominio de yacimiento.

10 Figuras 8A-8B. Estas figuras muestran un ejemplo de bloque para reemplazar un conjunto de celdas del dominio de yacimiento y la partición de dicho bloque.

Figuras 9A-9B. Estas figuras muestran el reemplazo del conjunto de celdas del ejemplo anterior en el dominio de yacimiento.

Figura 10. Esta figura muestra la malla global del dominio según el reemplazo del ejemplo anterior.

15 Figuras 11A-11C. Estas figuras muestran un ejemplo de dominio en 3D con su partición correspondiente en una pluralidad de celdas.

Descripción detallada de la invención

La figura 1 muestra un ejemplo de un dominio de yacimiento (Ω) modelado mediante un modelo geofísico y de fluido (GM, FM). Esta figura representa un ejemplo de un dominio en 2D.

20 En la figura 1, algunas entidades (E) están ubicadas en el dominio de yacimiento (Ω). Las entidades (E) representadas por líneas discontinuas corresponden a entidades geofísicas (E) tales como fallas, capas, etc. Hay algunas áreas sombreadas en la figura 1 que determinan áreas del dominio con diferentes propiedades de facies, y las líneas discontinuas que limitan las áreas sombreadas representan las discontinuidades de las propiedades de diferentes áreas. Las facies son las características de una unidad de roca que reflejan su origen y permiten su diferenciación de otras unidades de roca alrededor de la misma. Las facies se caracterizan habitualmente usando
25 todas las características geológicas conocidas para esa unidad de roca.

La figura 2 muestra el dominio de yacimiento (Ω) del ejemplo de la figura 1 dividido en partición. Según el método de la presente invención, el dominio (Ω) de este ejemplo se divide en una pluralidad de celdas (C). En este ejemplo, la partición (P) comprende una pluralidad de celdas de forma cuadrada (C) con los bordes paralelos de dos en dos. Cada celda (C) está limitada por un límite (B) y tiene cuatro vértices (V). Las celdas (C) que están próximas entre sí
30 son celdas adyacentes (C) que tienen límites (B) comunes.

La figura 3 muestra las mallas (M) que discretizan cada celda (C) de la partición (P) de la figura 2. Una vez que el dominio (Ω) se divide en partición, se genera una malla (M) para cada celda (C). En este ejemplo, los nodos (N) de las mallas (M) son los cuatro vértices (V) de cada celda (C). Por tanto, la malla (M) para cada celda (C) se representa en la figura 3 mediante dos líneas, conectando cada línea un vértice (V) de la celda (C) al vértice (V)
35 opuesto, dando como resultado una malla de cinco nodos puesto que se ha añadido un nodo central.

Según esta realización, una vez que se selecciona una pluralidad de puntos activos (A) de cada celda (C) para que sea un nodo (N) de la malla (M), el algoritmo que genera la malla (M) permite añadir nodos (N) adicionales. En vista de la malla (M) mostrada en la figura 3, el algoritmo usado para generar la malla (M) añade nodos adicionales ubicados en el centro de cada celda (C).

40 La malla (M) del dominio de yacimiento (Ω) del ejemplo, la malla global (M), es la unión de las mallas individuales (M) generadas para cada celda entre la pluralidad de celdas de forma cuadrada (C).

La figura 4 muestra otro ejemplo de un dominio de yacimiento (Ω). La figura muestra un dominio en 2D. En la figura, se muestran dos entidades geofísicas (E). Las entidades geofísicas (E) están representadas por dos líneas discontinuas. Las entidades geofísicas (E) contenidas en el dominio de yacimiento (Ω) de este ejemplo pueden ser,
45 por ejemplo, horizontes, fallas o fracturas.

Las figuras 5A a 5D muestran el proceso de partición del dominio de yacimiento (Ω) mostrado en la figura 4. En el proceso de partición, el dominio (Ω) se divide en una pluralidad de celdas (C). Cada celda (C) comprende vértices (V) y está limitada por un límite (B).

50 En este ejemplo de dominio en 2D, las celdas (C) tienen una forma cuadrada con los bordes paralelos de dos en dos. Las figuras 5A a 5D muestran que cada celda (C) o subcelda (C) se refina subdividiendo cada dimensión en dos partes por la mitad, lo que da como resultado cuatro subceldas (C) en cada partición de cada celda (C) o

subcelda (C). Cuando cada celda (C) se subdivide en subceldas más pequeñas (C), dichas subceldas (C) tienen la misma topología que la celda (C) original. Tal como puede observarse en las figuras, en este ejemplo, la forma de las celdas son cuadrados.

5 La figura 5A muestra la primera subdivisión en cuatro subceldas regulares (C) de todo el dominio de yacimiento (Ω) mostrado en la figura 4. En las siguientes figuras (5B, 5C y 5D) se muestran las siguientes etapas del refinamiento de las celdas.

10 El proceso de refinamiento consiste en la subdivisión de las celdas (C) según algunos criterios. En este ejemplo, para cada celda (C) que contiene más de dos entidades geofísicas (E) se realiza una subdivisión en cuatro subceldas (C) hasta que cada celda (C) contiene dos entidades geofísicas (E) o menos. Además, se aplican relaciones de tamaño de celdas adyacentes de la proporción 2:1 como máximo, es decir, una celda (C) se refina si el número de divisiones de las celdas adyacentes (C) en el límite común (B) es mayor de dos. Cada celda (C) se subdivide en subceldas más pequeñas (C) hasta que la relación con celdas adyacentes (C) es de 2:1 como máximo.

Las figuras 5A a 5D muestran otro criterio basado en la distancia de la intersección de cada entidad geofísica (E) alojada en una celda (C) con los bordes de la celda (C) y los puntos activos (A) de dicha celda (C).

15 Los puntos activos (A) de cada celda (C) son los puntos de la celda (C) que son candidatos a ser un nodo (N) de la malla (M). La forma cuadrada de las celdas (C) define los puntos activos de cada celda (C) en la que, en esta realización, los puntos activos son los vértices de la celda (C) y los puntos medios de cada borde de la celda (C).

20 En esta realización, desde la partición (P) de la figura 5A hasta la siguiente partición (P) de la figura 5B, se realiza una subdivisión de tres celdas (C) para refinar cada celda (C) reduciendo la distancia entre la intersección de las entidades geofísicas (E) con los límites (B) y los puntos activos (A) de cada celda (C). Las figuras 5C y 5D muestran las siguientes divisiones de las celdas (C) reduciendo la distancia hasta que las entidades geofísicas (E) cumplan con la distancia de tolerancia con los puntos activos (A).

25 Las celdas (C) se subdividen hasta que no se satisfagan el criterio del número de entidades geofísicas (E) alojadas en cada celda (C), el criterio de las relaciones de tamaño entre celdas adyacentes (C) y el criterio de la distancia entre las entidades geofísicas (E) y los puntos activos (A).

Por ejemplo, la celda (C) ubicada en la parte inferior y el lado izquierdo en la figura 5A no comprende ninguna entidad geofísica (E) y, por tanto, no necesita subdividirse tal como se muestra en la figura 5B. Las otras tres subceldas se dividen ya que alojan al menos una entidad geofísica (E).

30 En vista del refinamiento mostrado en la figura 5B, aquellas subceldas que alojan al menos una entidad geofísica se refinan generando nuevas subceldas debido a que se cumple al menos un criterio que resulta del refinamiento mostrado en la figura 5C. En la figura 5C, la celda (C) ubicada en la parte inferior y en el lado izquierdo se ha refinado aunque no aloje ninguna entidad geofísica (E) ya que las celdas vecinas ubicadas en la parte superior se han refinado dos veces y, por tanto, cumple el criterio de tener el límite superior la relación de aspecto máxima con las celdas vecinas, en este caso 2:1.

35 Específicamente en la figura 5C, en cada subcelda que aloja al menos una porción de una entidad geofísica (E), se mide la distancia de dicha porción a la pluralidad de puntos activos de la subcelda. Cuando la distancia es mayor que un valor predeterminado, la subcelda se refina en cuatro subceldas de nuevo tal como se muestra en la figura 5D, donde no se requieren refinamientos adicionales.

40 Una vez que no se cumplen las condiciones anteriores y se completa el refinamiento de la partición (P) del dominio de yacimiento (Ω), se aproxima la geometría de las entidades geofísicas (E) alojadas en las celdas (C) mediante los puntos activos (A) más cercanos de la estructura de celda final (C).

Las figuras 6A y 6B muestran una aproximación de la geometría usando líneas continuas gruesas de las entidades geofísicas (E) según la partición (P) anterior superpuesta a la forma de las entidades geofísicas (E) representadas por líneas discontinuas gruesas.

45 Los puntos activos (A) de una celda (C) son candidatos para representar la geometría de las entidades geofísicas (E) alojadas en una celda (C). Las entidades geofísicas (E) están representadas por porciones de segmentos entre puntos activos (A) en cada celda (C). Desde los puntos activos (A) de la celda (C), se selecciona el punto activo (A) más cercano a la intersección de la entidad geofísica (E) con los límites (B) para aproximar la entidad geofísica (E).

50 Los puntos activos (A) seleccionados para representar las entidades geofísicas (E) son nodos (N) que deben incluirse en la malla (M) que se genera en la siguiente etapa.

Tal como se ha indicado, las líneas discontinuas gruesas en la figura 6A representan las entidades geofísicas (E) del dominio de yacimiento (Ω) y las líneas continuas gruesas en la figura 6A representan la aproximación de las entidades geofísicas (E) mediante segmentos rectos entre puntos activos (A) en cada celda (C). La figura 6B muestra la partición (P) del dominio de yacimiento (Ω) y la representación de las entidades geofísicas (E) del dominio

de yacimiento (Ω) según la aproximación proporcionada por los puntos activos (A) de las celdas (C) de la partición (P).

Una vez que se crea la geometría aproximada de las entidades geofísicas (E), cada celda (C) se malla individualmente.

- 5 Las figuras 7A y 7B muestran la malla numérica (M) resultante de cada celda (C) según dos algoritmos diferentes con la restricción de comprender al menos el vértice de la celda y aquellos puntos activos usados para aproximar las entidades geofísicas (E). La figura 7A muestra la malla numérica (M) resultante usando el algoritmo "Delaunay" y la figura 7B muestra la malla numérica (M) resultante usando el algoritmo basado en "centroide".

- 10 La malla (M) de cada celda (C) comprende nodos (N) en los vértices (V) de la celda (C) y en aquellos puntos activos (A) usados para representar las entidades geofísicas (E) alojadas en la celda (C). Los vértices (V) de una celda (C) que limitan un límite común (B) con una celda adyacente (C) son también nodos (N) de la malla (M) de la celda adyacente (C). Además, los nodos (N) de la malla (M) de una celda (C) ubicada en un límite común (B) con una celda adyacente (C) también son nodos (N) de la malla (M) de la celda adyacente (C).

- 15 El algoritmo usado para generar la malla (M) mostrado en la figura 7B también añade nodos adicionales ubicados dentro del espacio de la celda (C) impidiendo que elementos o volúmenes delimitados por la malla (M) estén demasiado distorsionados.

- 20 La malla (M) resultante de cada celda (C) se fusiona con la malla global (M), consolidando los nodos duplicados (N) entre celdas adyacentes (C). Cuando una malla (M) ubicada en una celda (C) y una malla (M) ubicada en una celda adyacente (C) tiene un nodo común (N), los nodos duplicados (N) se simplifican manteniendo sólo un único nodo (N).

En esta realización, la malla (M) generada usa elementos de grosor nulo cuando representan las entidades geofísicas (E) ya que representan fracturas o discontinuidades en las propiedades.

Esta operación de consolidación no actúa sobre los nodos dobles de los elementos de grosor nulo que mantienen dichos nodos dobles.

- 25 Una vez que se genera la malla global (M) a partir de la unión de las mallas de cada celda (C), la malla global (M) se divide usando los segmentos de la representación de las entidades geofísicas (E).

- 30 La figura 7C muestra una discretización que usa elementos finitos y en la que las entidades geofísicas (E) se aproximan usando elementos de grosor nulo. La malla global (M) se representa dividiendo el dominio de yacimiento (Ω) según las cuatro regiones definidas por los elementos de grosor nulo. En cada nodo (N) de malla se retienen las propiedades que lo relacionan con las entidades geofísicas de entrada (E) que originaron el nodo (N).

- 35 El método de la presente invención permite la modificación de determinadas regiones de la malla (M) sin tener que volver a mallar todo el dominio (Ω). Siempre que se cree la malla (M) a nivel de celda (C), toda la información necesaria para realizar esta operación está almacenada en la celda (C) o en una base de datos vinculada a la celda (C). Considerando este hecho, cada celda (C) podría considerarse como un problema de mallado independiente que usa las celdas (C) resultantes de los procesos de división/análisis. Esto permite la modificación de la malla (M) en determinadas regiones sin afectar a todo el dominio, ahorrando tiempo y recursos computacionales mientras se mantienen las buenas propiedades de acondicionamiento de la malla (M) resultante.

- 40 Basándose en el ejemplo anterior, una vez que el dominio de yacimiento (Ω) se divide en partición y se malla, se requiere una modificación en una determinada región. Esta modificación cambia las propiedades de una región del dominio (Ω) y aquellas celdas (C) que alojan al menos parte de dicha región modificada se eliminan de la partición (P), y el espacio vacío se rellena con un nuevo conjunto de celdas (C).

A partir de la partición (P) del dominio de yacimiento (Ω) del ejemplo anterior, se requiere que se modifique un conjunto de celdas (C). La figura 8A muestra la partición (P) de la figura 6B con una región vacía y una nueva región con una entidad geofísica (E) actualizada que va a insertarse en la región vacía del dominio de yacimiento (Ω).

- 45 La figura 8B muestra la partición (P) de la nueva región y la aproximación de la entidad geofísica (E) alojada en las celdas (C) de la partición (P) que se insertará en el dominio inicial (Ω). La partición (P) comprende una pluralidad de celdas (C) y el proceso de partición de la región sigue los criterios explicados en el ejemplo anterior.

- 50 Una vez que se divide en partición la nueva región que va a insertarse y no se cumplen todas las condiciones que provocan un refinamiento, se aproxima la geometría de la entidad geofísica (E) alojada en las celdas (C) con un error por debajo de un valor predeterminado. La entidad geofísica (E) está representada por porciones extendidas entre los puntos activos (A) en cada celda (C). Las líneas discontinuas en la figura 8B representan la aproximación de la entidad geofísica (E) mediante porciones de líneas en la nueva región.

Según esta realización, una vez que se divide en partición la nueva región y se aproxima la geometría de la entidad

geofísica (E), se inserta la nueva región en el dominio original (Ω). Según otra realización, el proceso de refinado de las celdas (C) dividiendo en partición el nuevo bloque se realiza una vez que se inserta dicho bloque.

La figura 9A muestra el dominio de yacimiento (Ω) relleno con el nuevo conjunto de celdas (C) que reemplazan las originales.

- 5 Después de la inclusión del nuevo bloque en el dominio, se comprueba la coherencia de la división, se realizan operaciones de equilibrado para satisfacer los criterios del refinamiento explicado anteriormente y se incluyen puntos activos (A) que representan la entidad geofísica (E) para garantizar la continuidad. Este proceso extiende el refinamiento de las celdas (C) por una región circundante, dando como resultado una influencia limitada del nuevo bloque y, por tanto, evitando reemplazar toda la malla (M) generada previamente, si la hubiera, o las celdas (C) generadas previamente.

Las celdas rellenas (C) mostradas en la figura 9B que usan un patrón de grises representan las celdas (C) que se han subdividido debido al equilibrado que satisface los criterios del refinamiento, y el círculo representa un nuevo punto activo (A) usado para aproximar la nueva entidad geofísica (E). El nuevo punto activo (A) que representa la entidad geofísica (E) introducida es un nuevo nodo (N) de la malla (M).

- 15 Tal como puede observarse en la figura 9B, algunas celdas (C) de la parte inferior del dominio (Ω) se han subdividido debido a la nueva partición (P) de la región introducida. El refinamiento de estas celdas (C) es necesario para mantener la relación 2:1 del tamaño entre celdas adyacentes (C).

La figura 10 muestra la malla global (M) del dominio (Ω) según el reemplazo anterior.

- 20 El método de la presente invención permite la modificación de determinadas regiones de la malla (M) sin tener que volver a mallar todo el dominio (Ω). Cada celda (C) se malla a nivel de celda y se almacena la información necesaria en la celda (C). Por tanto, sólo aquellas celdas modificadas (C) tienen que regenerar sus mallas (M). Las celdas (C) que no se han visto afectadas mantienen sus mallas (M).

Una vez que se inserta la nueva región en el dominio inicial (Ω) y se comprueba la coherencia de la división, las celdas modificadas (C) comprenden mallas individuales (M) y sus mallas (M) se fusionan en la malla global (M).

- 25 En la nueva malla global (M) de la figura 10, pueden observarse los nuevos nodos (N) de la malla (M) determinados a partir de los puntos activos (A) no ubicados en ningún vértice que represente la entidad geofísica (E) introducida en el reemplazo.

Las figuras 11A a 11C muestran un ejemplo de dominio en 3D con su partición (P) correspondiente en una pluralidad de celdas (C).

- 30 La figura 11A muestra un dominio de yacimiento (Ω) en tres dimensiones. La figura 11B muestra una primera partición (P) del dominio en 3D (Ω). Según este ejemplo, el dominio (Ω) se divide en partición en una pluralidad de celdas (C). Las celdas son hexaedros con las caras paralelas de dos en dos. La figura 11C muestra el refinamiento de algunas celdas (C) de la partición (P) anterior. En este ejemplo, una celda o subcelda (C) se refina subdividiendo cada dimensión en dos partes por la mitad, lo que da como resultado ocho subceldas (C). Cada celda (C) está limitada por un límite (B) y tiene ocho vértices (V).

REIVINDICACIONES

1. Método implementado por ordenador para manipular una malla para la discretización de un dominio de yacimiento modelado mediante un modelo geofísico, un modelo de fluido o ambos modelos, en el que el modelo geofísico comprende las propiedades mecánicas y de roca y el modelo de fluido comprende las propiedades de fluido y, ambos modelos comprenden entidades geofísicas del yacimiento; recuperándose del yacimiento los datos de información de entidades geofísicas,

comprendiendo el método:

 - a) generar, a través de un sistema informático, un modelo geofísico (GM), un modelo de fluido (FM) o ambos modelos (GM, FM), comprendiendo dichos modelos (GM, FM) entidades geofísicas (E) en el dominio (Ω);
 - b) generar, a través de un sistema informático, una partición (P) del dominio (Ω), comprendiendo la partición (P) una pluralidad de celdas (C) limitadas por un límite (B), comprendiendo cada celda (C) vértices (V) y, cada celda (C) tiene un límite común (B) con celdas adyacentes (C);
 - c) generar para cada celda (C), a través de un sistema informático, una malla numérica (M) que discretiza la celda (C), comprendiendo dicha malla numérica (M) nodos (N) al menos en los vértices (V) de la celda (C);
 - d) proporcionar la malla (M) resultante de la unión de las mallas (M) de la pluralidad de celdas (C), es decir, el resultado de un proceso de consolidación que elimina los nodos duplicados de celdas adyacentes y almacenar los nodos en la malla global sólo una vez, en el que los nodos duplicados están en ubicaciones separadas por una distancia menor que un umbral predeterminado;

en el que las celdas (C) de la partición (P) tienen una forma que, cuando una celda (C) se subdivide en subceldas (C) más pequeñas, dichas subceldas (C) tienen la misma topología que la celda (C) original, y en el que el conjunto de celdas (C) son rectángulos si el dominio (Ω) es un dominio en 2D o hexaedros si el dominio (Ω) es un dominio en 3D, con los bordes/caras paralelos de dos en dos;

estando adaptado el método para la simulación de yacimientos de petróleo y gas, reproduciendo un proceso de explotación tantas veces como sea necesario para identificar el plan de explotación óptimo, siendo dicho plan óptimo el plan de explotación del proceso de explotación.
2. Un método según la reivindicación 1, en el que para cada límite común (B) entre una celda (C) y una celda adyacente (C), los vértices (V) incluidos en el límite común de la celda (C) que limitan el límite común (B) son nodos (N) de la malla (M) de la celda adyacente (C).
3. Un método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, dada una celda (C) predeterminada, aquellos nodos (N) de la malla (M) de celdas adyacentes (C) ubicadas en el límite común (B) entre la celda (C) y la celda adyacente (C) también son nodos (N) de la malla (M) de la celda (C).
4. Un método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que cada celda (C) comprende una pluralidad de puntos activos (A) en una ubicación predeterminada del límite de la celda (C), siendo los puntos activos (A) los puntos de la celda (C) que son ubicaciones candidatas que se permite que sean un nodo (N) de la malla (M).
5. Un método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que una celda (C) o una subcelda (C) de la partición (P) se refina subdividiendo cada dimensión en dos partes por la mitad, dando como resultado 2^N subceldas (C) donde N es el número de dimensiones, siendo las nuevas subceldas (C) parte de la partición (P).
6. Un método según la reivindicación 5, en el que si una celda (C) que está subdividiéndose tiene una malla (M), dicha malla (M) se elimina antes de subdividir la celda (C) y se reconstruye una nueva malla (M) al menos en las nuevas subceldas (C) después de subdividir la celda (C).
7. Método según la reivindicación 5 o 6, en el que una celda (C) se refina de manera iterativa en:
 - un primer criterio basado en el número de divisiones de las celdas adyacentes (C), es decir, la celda (C) se refina si el número de divisiones de las celdas adyacentes (C) en el límite común (B) es mayor que un valor predeterminado, preferiblemente 2; o,
 - un segundo criterio basado en el número de entidades geofísicas (E) alojadas en la celda (C), es decir, la celda (C) se refina si el número de entidades geofísicas (E) alojadas o alojadas parcialmente en la celda (C) es mayor que un valor predeterminado, preferiblemente 2; o,
 - un tercer criterio basado en la distancia de la intersección de una entidad geofísica (E), alojada al menos parcialmente en la celda (C), con los límites (B) de la celda (C) y los puntos activos (A) de

dicha celda (C), es decir, la celda (C) se refina si la distancia mínima entre la intersección de una entidad geofísica (E) con los límites (B) y los puntos activos (A) de dicha celda (C) es mayor que un valor predeterminado; o,

- cualquier combinación de los mismos;

5 hasta que no se satisfaga ninguna de las opciones anteriores.

8. Un método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que en cada operación de refinado de las celdas (C), en aquellos límites comunes (B) de una celda adyacente (C) a los límites (B) de la celda (C) que limitan dos o más subceldas (C), el método añade además al menos un nuevo nodo (N) en la ubicación de la intersección del límite común (B) de la celda (C) y los límites (B) que limitan las dos o más subceldas (C).

10 9. Un método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que, después de generar la partición (P) o después de generar la partición (P) y una o más mallas (M) en las celdas (C), el método comprende:

- modificar el modelo geofísico (GM), el modelo de fluido (FM) o ambos modelos (GM, FM);
- identificar al menos una celda (C) actualizada, es decir, una celda (C) que aloja entidades geofísicas (E) con datos modificados;
- 15 - eliminar la al menos una celda (C) actualizada de la partición (P);
- rellenar el espacio del dominio (Ω) con una nueva celda o nuevas celdas (C).

10. Un método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que cada celda (C) almacena además datos de las entidades geofísicas (E) que están alojadas en dicha celda (C).

20 11. Un método según las reivindicaciones 9 o 10, en el que después de rellenar el espacio del dominio (Ω) con una nueva celda o nuevas celdas (C),

- la nueva celda o las nuevas celdas (C) se refinan según una cualquiera de las reivindicaciones 5 a 8;
- se genera una nueva malla (M) en cada celda o celdas (C) actualizadas; y
- la malla (M) se actualiza según la reivindicación 9.

25 12. Un medio legible por ordenador que almacena instrucciones ejecutables por ordenador que, cuando se ejecutan por un procesador, dan como resultado el método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11.

13. Un dispositivo electrónico de análisis de datos, comprendiendo el dispositivo:

- un procesador; y
- 30 - un medio legible por ordenador que almacena instrucciones ejecutables por ordenador que, cuando se ejecutan por el procesador, dan como resultado el método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11.

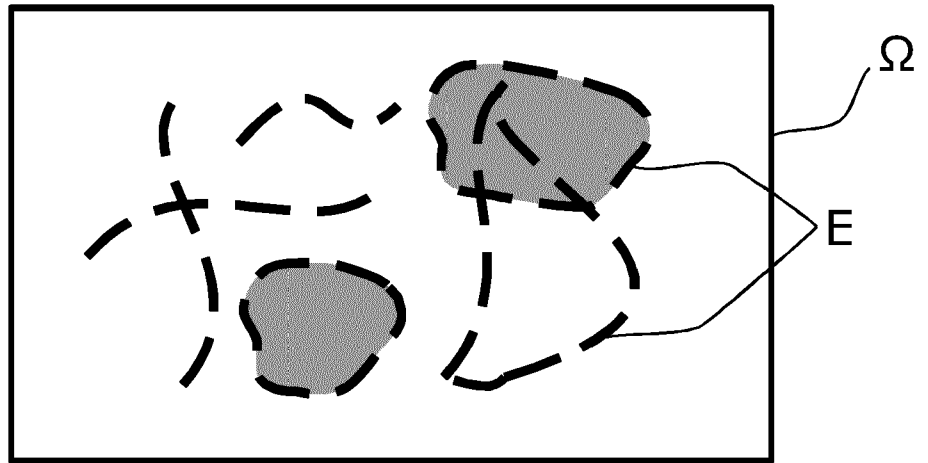


Fig. 1

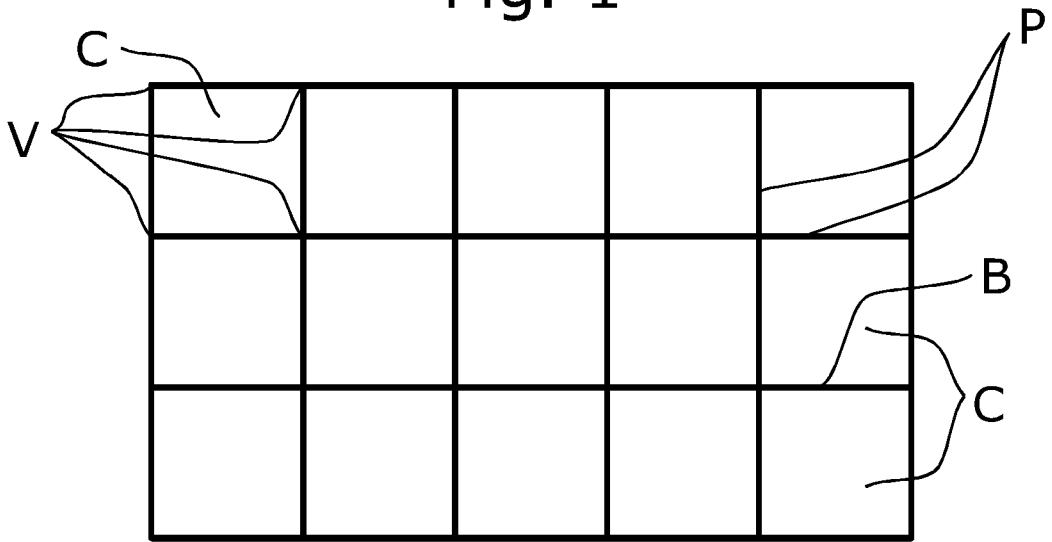


Fig. 2

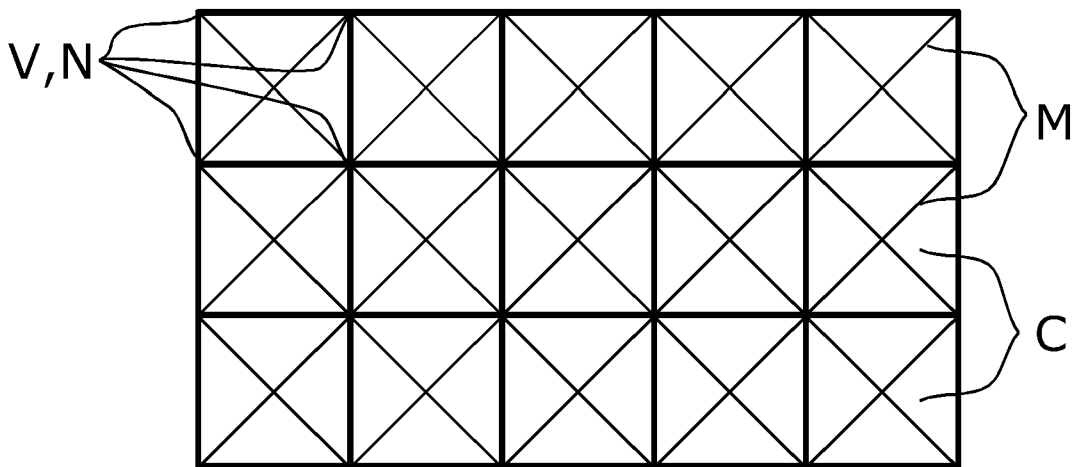


Fig. 3

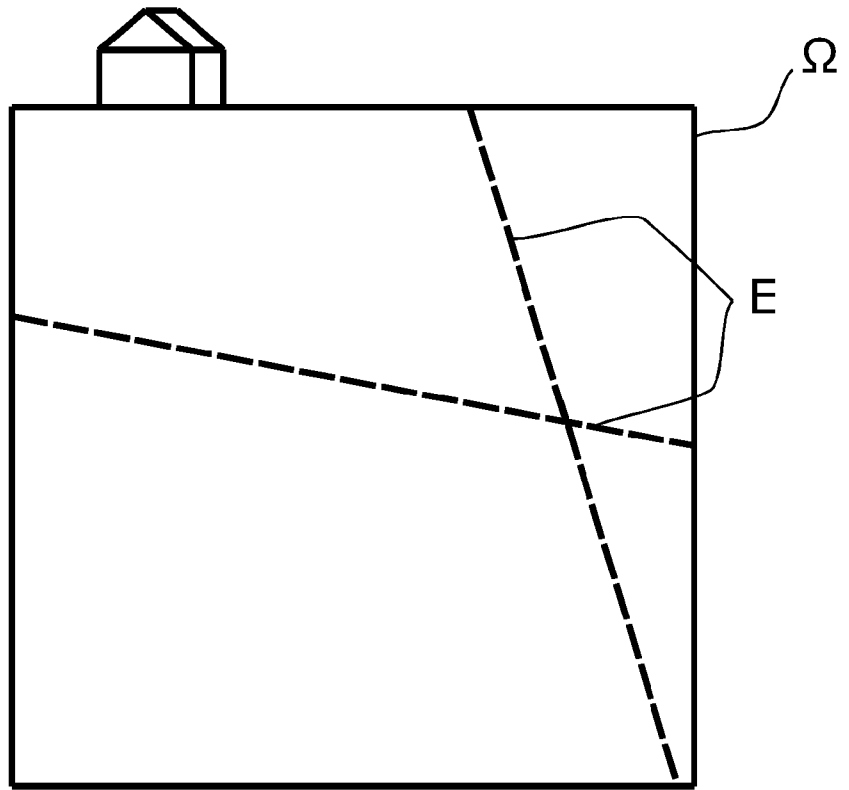


Fig. 4

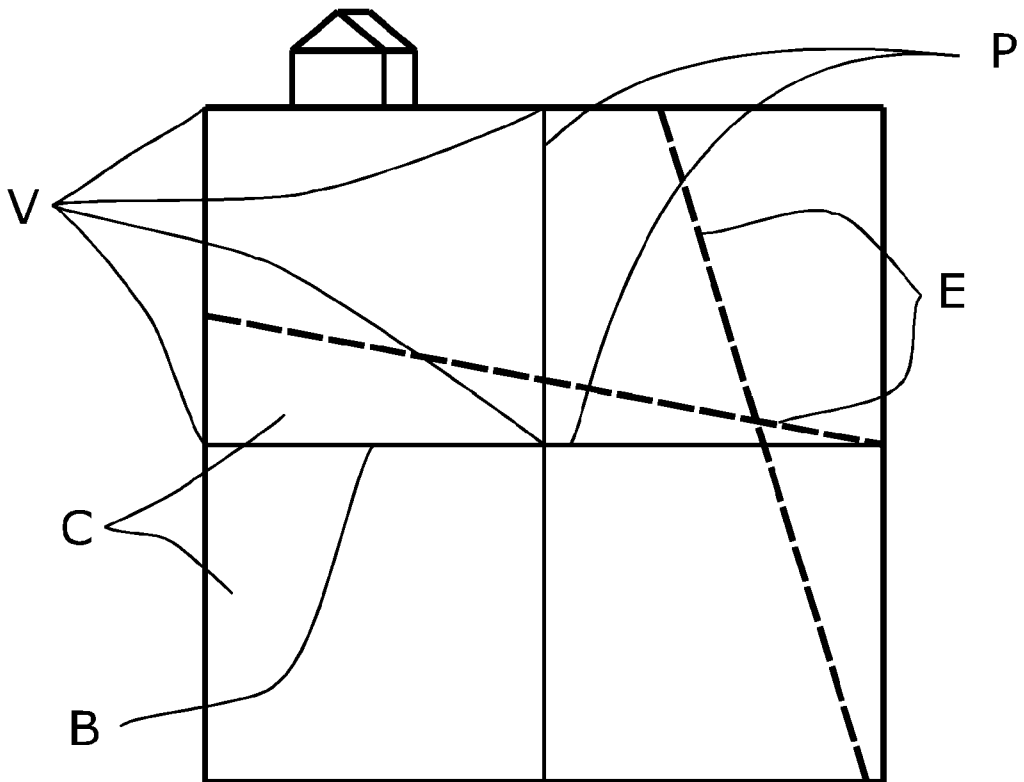


Fig. 5A

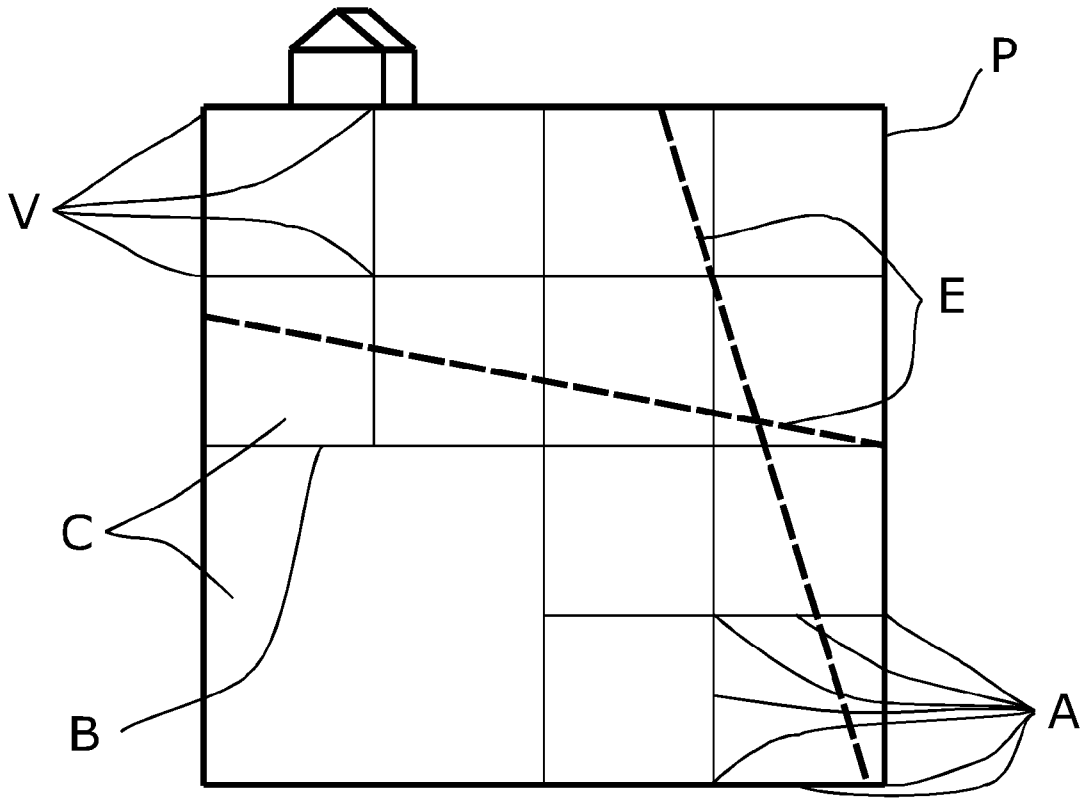


Fig. 5B

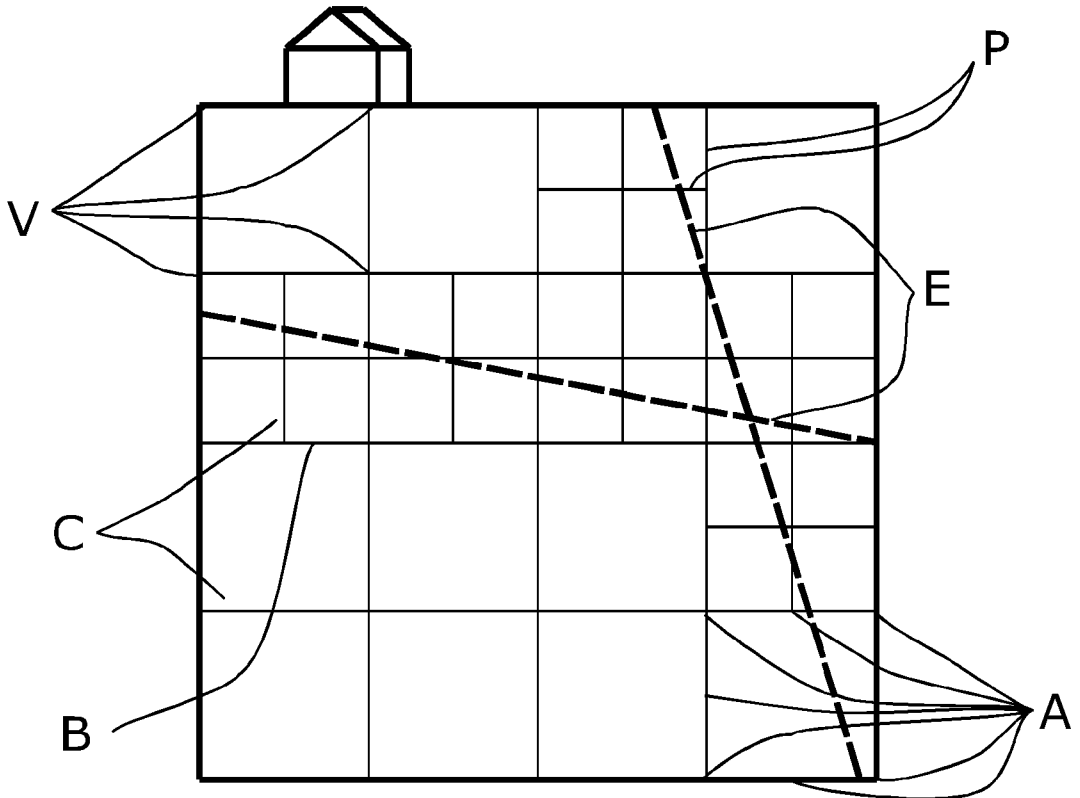


Fig. 5C

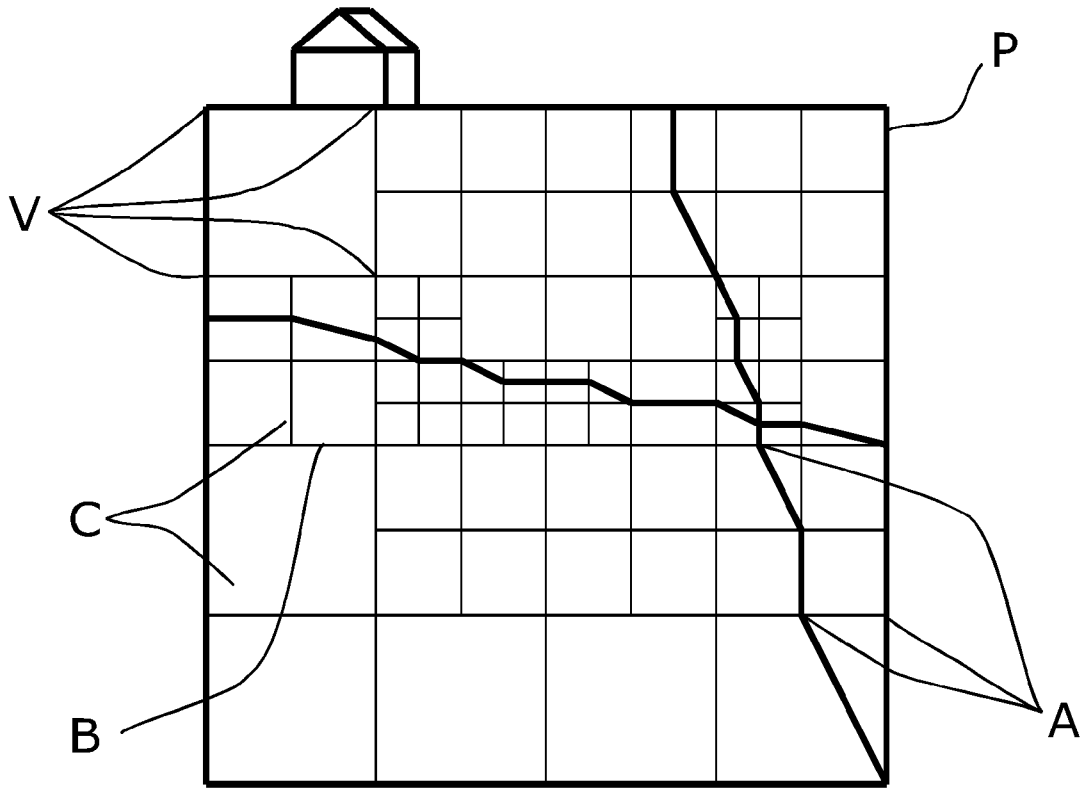


Fig. 6B

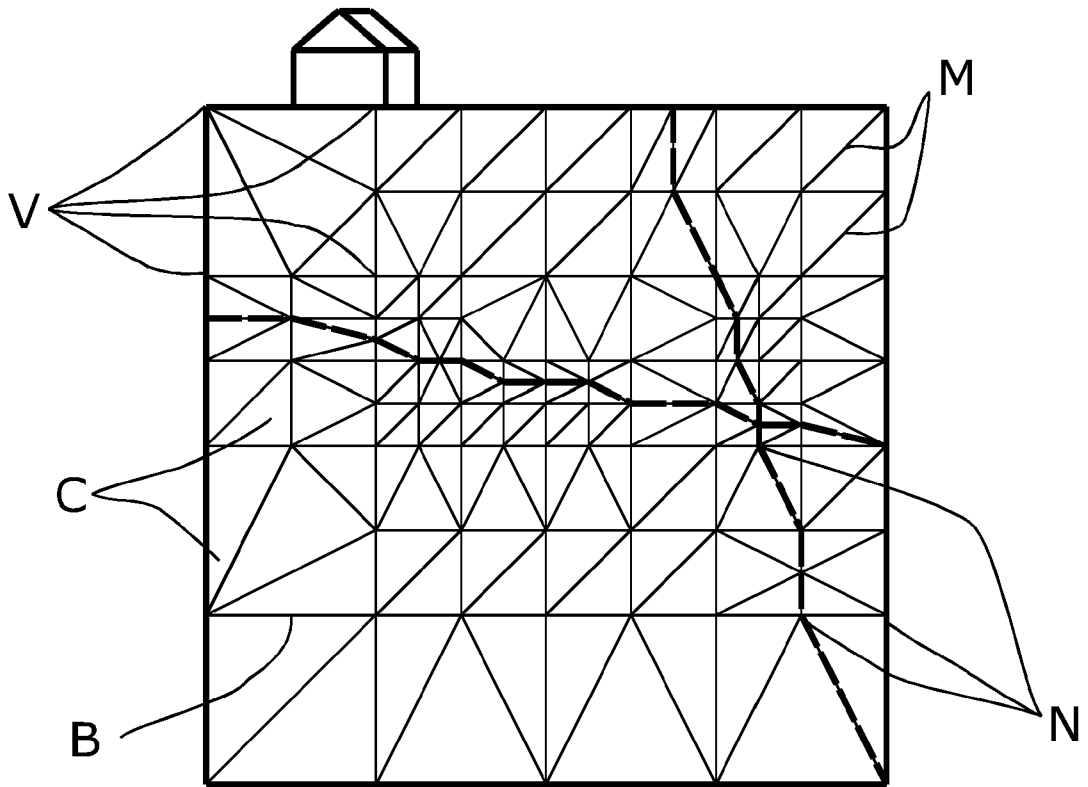


Fig. 7A

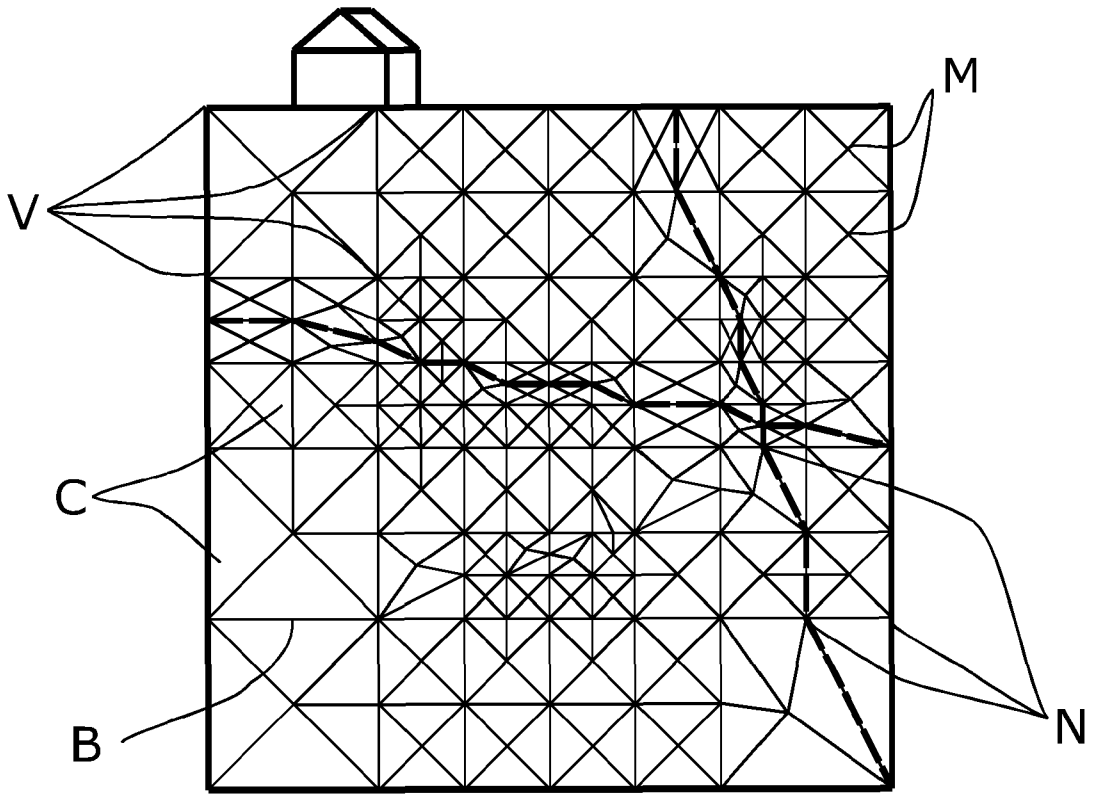


Fig. 7B

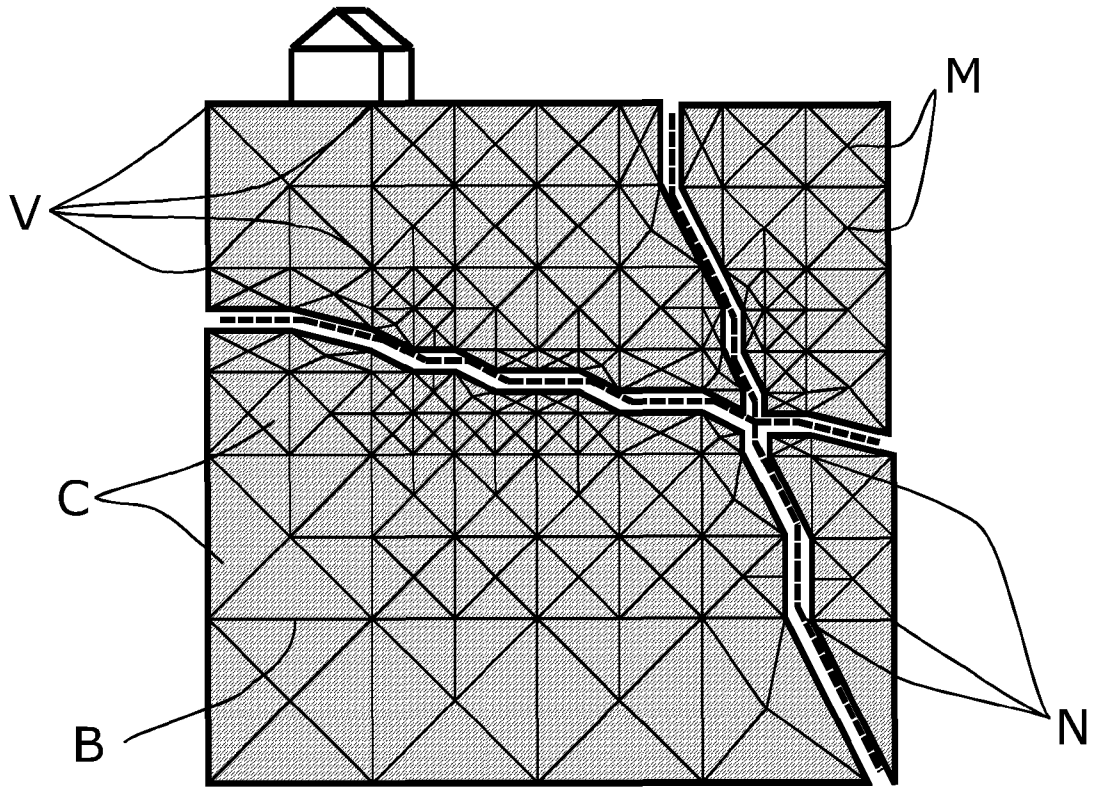


Fig. 7C

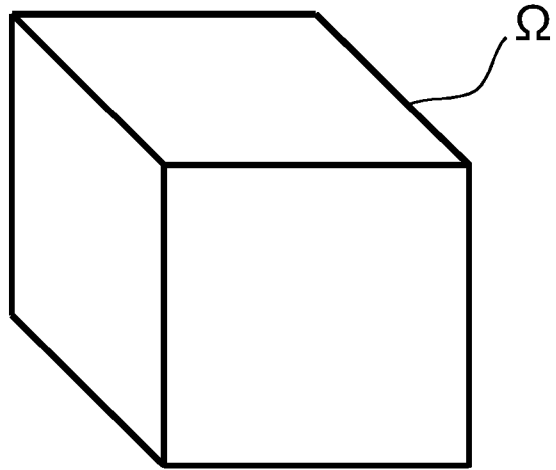


Fig. 11A

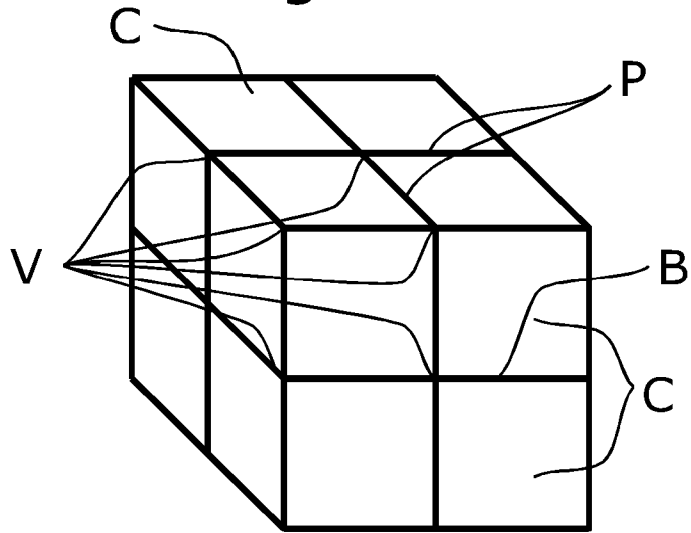


Fig. 11B

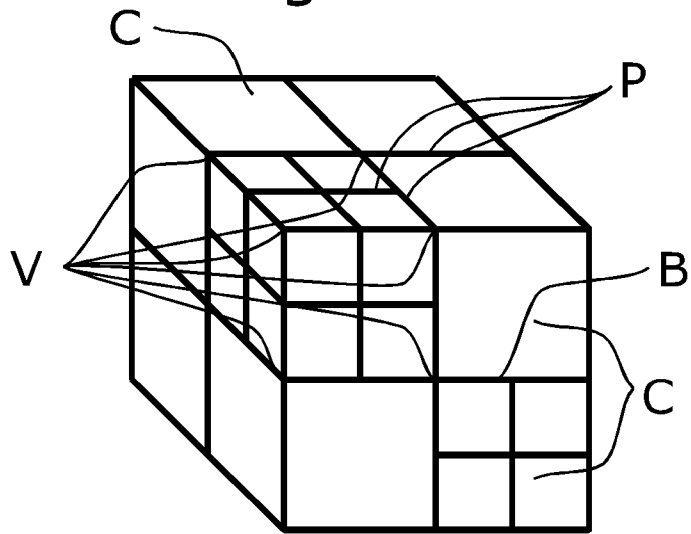


Fig. 11C